第47卷 第11期
2024年11月

干旱区地理
ARID LAND GEOGRAPHY

Vol. 47 No. 11
Nov. 2024

中国西北农作制区耕地利用“显-隐性”形态耦合协调度研究

李海央， 杨 敏

（昆明理工大学管理与经济学院，云南 昆明 650504）

摘 要：深入研究耕地利用形态对实现耕地高效利用、保障粮食供应具有重要意义。构建耕地利用形态综合评价指标体系，运用时空统计方法，探讨2010—2021年中国西北农作制区耕地利用“显-隐性”形态耦合协调度的时空演化特征，并运用障碍度分解模型分析耕地利用的障碍指标。结果表明：(1) 中国西北农作制区耕地利用显性、隐性形态存在不同步发展，滞后发展区域分异特征显著；耕地利用“显-隐性”形态耦合协调度水平不高，各亚区均存在明显的极化分布特征。(2) 耕地利用“显-隐性”形态耦合协调度区域内差异呈波动下降趋势，区域间差异贡献率逐渐上升成为总体差异的首要来源，各亚区均存在空间收敛特征。(3) 耕地利用主要受到耕地数量结构、景观特征、集约化水平以及生产功能等因素限制。将上述因素作为关键瞄准，应提高水资源的合理运用、推进适宜性耕地的保护开发、缓解障碍指标的掣肘，促进耕地利用“显-隐性”形态耦合发展，以期为中国西北农作制区耕地利用的可持续发展提供合理的科学参考。

关 键 词：农作制；耕地利用；显性形态；隐性形态；耦合协调度

文章编号：1000－6060(2024)11－1924－11(1924～1934)

耕地是农业生产的空间载体，其利用方式反映着人类在“自然-经济-社会”间的复杂交互过程[1]，对保障粮食安全、促进农业经济增长、维持社会稳定起着重要作用[2]。长期以来，中国耕地存在总量面积丰富但人均占有面积少且后备资源不足的数量问题，还存在生产主体老弱化、耕地细碎化与质量恶化等要素问题，以及耕地“非农化”“非粮化”等结构性问题[1,3]，严重制约着耕地资源的可持续开发利用，不利于乡村振兴与农业强国战略的稳步推进。2023年党中央农村工作会议提出要“守住耕地这个命根子，确保耕地数量有保障、质量有提升”，2024年中央一号文件再次明确“严格落实耕地保护制度，健全耕地数量、质量、生态‘三位一体’保护制度体系”，为新发展阶段耕地利用的发展方向明确了具体目标。

耕地利用系统是土地利用系统的重要组成部分[4]，在长时间序列下的趋势性变化为耕地利用转型[5-6]，当前相关主题的研究热点集中在耕地利用转型的理论框架[7]、形态特征[8]、驱动机理[9-10]、实现途径[11]及其对“三农领域”的外部效应[12-14]等方面。其中，耕地利用的形态变化提供了定量刻画耕地利用转型特征的分析基础[15]，龙花楼[8]将耕地利用形态区分为显性、隐性形态2种结构，显性形态侧重于耕地数量、空间格局的表现形式[16-17]，隐性形态包括产权结构、经营方式、投入产出、功能变动等表现形式[18]。具体实践中，中国的农业生产受地质地貌、气候、水文等地理要素，劳动力、资本、耕地等生产要素，以及民族、文化、基础设施、产业结构等经济社会要素的复合影响[19]，耕地的利用方式存在着显性-隐性形态结构的长期冲突。当前研究中对耕

收稿日期：2024-01-03； **修订日期**：2024-03-05

基金项目：云南省哲学社会科学规划智库项目(ZK2023YB13)；云南省基础研究专项面上项目(202301AT070477)；昆明理工大学人文社会科学研究培育项目(PYYB2022014)资助

作者简介：李海央(1985-)，男，博士，副教授，主要从事农村金融与土地利用等方面的研究. E-mail: hyramli@outlook.com

通讯作者：杨敏(1999-)，女，硕士研究生，主要从事农村金融与土地利用等方面的研究. E-mail: Jung97kookie@163.com

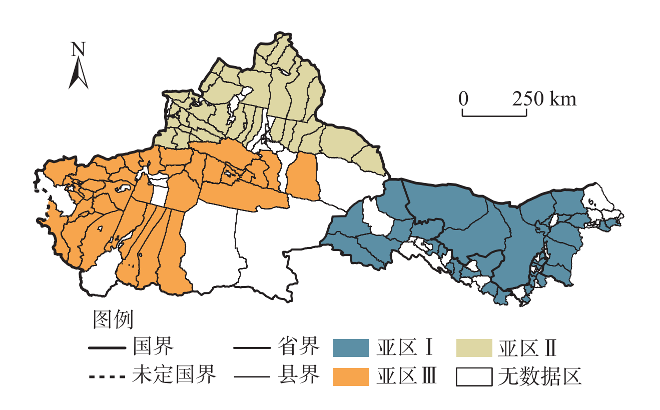
地利用显性或隐性的单一形态观察较多，研究视角也多为省域尺度，忽略了不同区域农业发展存在差异和不平衡问题，难以系统性评价耕地利用转型的整体特征、揭示冲突问题隐含的障碍成因。

综上所述，耕地利用形态变化是显性与隐性形态联结互动的动态过程，显性形态变化是耕地资源的直接空间表现形式，隐性形态变化同样映射在地理空间上[20]，2种形态能否协同发展变化是耕地利用高质量转型的关键点。基于此，本文以中国西北农作制区域内107个县(区)作为研究对象，分析耕地利用"显-隐性"形态耦合协调度的时空演进特征及障碍因素，可能的边际贡献有：第一，依照农作制分区划定西北农作制区作为研究区域，是对中国特色农情下差异化耕地利用问题的实际把握和解答；第二，利用多元化基础指标构建耕地利用"显-隐性"形态评价指标体系，有益于系统性、多层次发现耕地利用产生的核心问题。

1 数据与方法

1.1 研究区概况

西北农作制区即西北干旱中温带绿洲灌溉农作制兼荒漠放牧区[21]，主要覆盖新疆、内蒙古西部、甘肃西北部、宁夏北部区域共147个县，包括绵延于西北干旱地区的四大灌区及荒漠草原、荒漠、戈壁、沙漠等多种复杂地形，耕地面积占土地面积的1.9%，在数量与质量方面皆存在着明显制约。该农作制区包含3个亚区(图1)，分别为河套河西灌溉一熟填闲农区与阿拉善高地荒漠牧区(亚区Ⅰ)、北疆灌溉兼旱作一熟填闲农区与荒漠化牧区(亚区Ⅱ)、南疆灌溉一二熟农区与荒漠化牧区(亚区Ⅲ)。



注：基于自然资源部标准地图服务网站审图号为GS(2020)4619号的标准地图制作，底图边界无修改。下同。

图1 研究区域与亚区划分

Fig. 1 Research area and subarea division

1.2 概念与表征

与土地利用形态的区分一致[8]，耕地利用形态也包括显性形态和隐性形态2种类型，显性形态是特定时间内区域耕地利用类型构成结构的体现，包含数量及空间结构2方面[22]；隐性形态是依托于显性形态且需要分析、化验、检测及调查才能获得的利用形态，包括质量、产权、经营方式、投入、产出及功能等多重属性[22-24]。根据耕地利用"显-隐性"形态的概念内涵，兼顾基础数据的可得性，构建耕地利用显性形态和隐性形态的评价指标体系(表1)。

1.3 数据来源

经济社会类数据来源于《中国县域统计年鉴》《中国农村统计年鉴》、各县(区)的《统计年鉴》以及《国民经济和社会发展统计公报》；耕地覆盖类数据来源于武汉大学杨杰和黄昕教授团队制作的30 m全国逐年土地覆被数据集(CLCD)，以此数据集为基础，运用ArcGIS和Fragstats软件对耕地景观指数进行测算。缺失数据利用线性插值和B-J短期估测等方法进行填补。将2020—2021年界定为研究区间，考虑研究时段内行政区划存在变更情况，以2020年行政区划为基准，剔除数据缺失严重区域，最终获得107个有效分析单元。

1.4 研究方法

1.4.1 耦合协调度模型 利用熵权法分别测算耕地利用的显性、隐性形态指数[25]，再引入耦合协调度模型刻画耕地利用"显-隐性"形态间的相互关系，计算公式如下[26]：

$$C=\left\{\frac{S_1\times S_2}{[(S_1\times S_2)/2]^{1/2}}\right\} \tag{1}$$

$$T(S_1、S_2)=\alpha_1 S_1+\alpha_2 S_2 \tag{2}$$

$$D(S_1、S_2)=\sqrt{C(S_1、S_2)\times T(S_1、S_2)} \tag{3}$$

式中：C为耦合度；T为耕地利用显性形态与隐性形态2个子系统的综合协调指数；S_1、S_2分别为耕地利用显性、隐性形态指数；D为耦合协调度；α_1和α_2为待定系数，体现子系统对耕地利用水平的贡献程度，设定α_1和α_2为0.5。

1.4.2 Kernel密度估计 运用Kernel密度估计判别耕地利用"显-隐性"形态耦合协调度的动态演进规律，选择高斯核函数表达式，具体过程如下[27]：

表1 耕地利用形态评价指标体系

Tab. 1 Evaluation index system of cropland utilization patterns

维度	分项维度	具体方面	基础指标	计算方法及表征意义	属性
显性形态	数量变化	数量	人均耕地面积/km²·(10⁴人)⁻¹	耕地面积/乡村人口,表征耕地的数量变化	+
			土地垦殖率/%	耕地面积/土地总面积,表征耕地的面积变动	+
		动态变化	份额变化/%	(末期耕地面积占比-基期耕地面积占比)×100,表征耕地利用的变化幅度	+
			耕地利用度/%	(末期耕地面积占比-基期耕地面积占比)/(基期耕地面积占比)×1/12,表征耕地利用的变化动态度	+
	空间结构	结构	粮经比/%	粮食作物面积/经济作物面积,表征耕地的种植结构	+
		景观形态	耕地景观分离度/%	通过Fragstats软件计算得到,表征耕地被分割的情况,体现人为干扰	−
			耕地景观聚集度/%	通过Fragstats软件计算得到,表征同类耕地斑块聚集程度	+
隐性形态	经营过程	规模化	设施农业占比/%	设施农业用地面积/耕地面积,表征耕地规模化生产水平	+
		集约化	复种指数/%	农作物播种面积/耕地面积,表征耕地集约利用程度	+
	要素投入	机械投入	单位耕地面积农业机械总动力/10⁴ kW·km⁻²	农业机械总动力/耕地面积,表征耕地机械化水平	+
	多重功能	生态功能	单位耕地面积承载人口数量/10⁴人·km⁻²	常住人口/耕地面积,表征耕地的生态承载能力	−
		生产功能	单位耕地面积粮食产量/t·km⁻²	粮食总产量/耕地面积,表征耕地粮食生产能力	+
			单位耕地面积第一产业产值/10⁴元·km⁻²	第一产业增加值/耕地面积,表征示耕地生产价值	+
		生活功能	人均粮食保证率/t·(10⁴人)⁻¹	粮食总产量/(常住人口×400),表征耕地粮食保障功能	+

注:“+”“−”分别表示指标属性为正向指标、逆向指标。

$$f(x)=\frac{1}{nh}\sum_{i=1}^{n}K\left(\frac{x_i-\bar{x}}{h}\right) \tag{4}$$

$$K(x)=\frac{1}{\sqrt{2\pi}}\exp\left(-\frac{x_i^2}{2}\right) \tag{5}$$

式中:$K(x)$ 为核函数;n 为观测值数量;h 为带宽;x_i 为观测值,即耕地利用“显-隐性”形态耦合协调度值;$\bar{x}$ 为观测值均值。

1.4.3 Dagum基尼系数 利用Dagum基尼系数分解考察空间的非均衡问题,不但能解决地区差异的来源问题,也能克服分组间样本的交叉重叠缺陷[28],计算公式如下:

$$G=\frac{\sum_{j=1}^{k}\sum_{h=1}^{k}\sum_{i=1}^{n_j}\sum_{r=1}^{n_h}\left|y_{ji}-y_{hr}\right|}{2n^2\bar{y}} \tag{6}$$

$$G=G_{\rm w}+G_{\rm nb}+G_{\rm t} \tag{7}$$

$$G_{\rm w}=\sum_{j=1}^{k}G_{jj}\left(\frac{n_j}{n}\right)\left(\frac{n_j\bar{y}_j}{n\bar{y}}\right) \tag{8}$$

$$G_{jj}=\frac{\sum_{i=1}^{n_j}\sum_{r=1}^{n_j}\left|y_{ji}-y_{jr}\right|}{2n_j^2\bar{y}} \tag{9}$$

$$G_{\rm nb}=\sum_{j=2}^{k}\sum_{h=1}^{j-1}G_{jh}\left[\frac{n_jn_h\left(\bar{y}_h+\bar{y}_j\right)}{n^2\bar{y}}\right]B_{jh} \tag{10}$$

$$G_{jh}=\frac{\sum_{i=1}^{n_j}\sum_{r=1}^{n_h}\left|y_{ji}-y_{hr}\right|}{n_jn_h\left(\bar{y}_j+\bar{y}_h\right)} \tag{11}$$

$$G_{\rm t}=\sum_{j=2}^{k}\sum_{h=1}^{j-1}G_{jh}\left[\frac{n_jn_h\left(\bar{y}_h+\bar{y}_j\right)}{n^2\bar{y}}\right]\left(1-B_{jh}\right) \tag{12}$$

$$B_{jh}=\frac{\left(b_{jh}-c_{jh}\right)}{\left(b_{jh}+c_{jh}\right)} \tag{13}$$

$$b_{jh}=\int_0^{\infty}{\rm d}F_j(y)\int_0^{y}(y-x){\rm d}F_h(x) \tag{14}$$

$$c_{jh}=\int_0^{\infty}{\rm d}F_h(y)\int_0^{y}(y-x){\rm d}F_j(x) \tag{15}$$

式中:G 为总体基尼系数,G 越大表明总体差距越大;k 为研究区域划分亚区个数;n 为研究区域内县(区)总个数;n_j、n_h 分别为 j、h 地区内县(区)个数;y_{ji}、y_{hr} 分别为第 j、h地区内第 i、r 个县(区)的耕地利用“显-隐性”形态耦合协调度值;$\bar{y}$ 为研究区域耕地利用“显-隐性”形态耦合协调度平均值;$G_{\rm w}$ 为地区内差异;$G_{\rm nb}$ 为地区间差异;$G_{\rm t}$ 为超变密度差异;$\bar{y}_j$、$\bar{y}_h$ 分别为第 j、h地区内耕地利用“显-隐性”形态耦合协调度平均值;G_{jj} 为第 j 地区内基尼系数;G_{jh} 为 j、h地区间基尼系数;B_{jh} 为

j、h 地区内耕地利用显性形态与隐性形态耦合协调度的相对影响；b_{jh} 为 j 地区和 h 地区中满足 $y_{ji}-y_{hr}>0$ 条件的样本值加总的数学期望值；c_{jh} 为 j 地区和 h 地区中满足 $y_{hr}-y_{ji}>0$ 条件的样本值加总的数学期望值；F_j、F_h 分别为 j、h 地区的累计密度分布函数。

1.4.4 空间收敛模型 利用绝对 β 收敛模型检验耕地利用“显-隐性”形态耦合协调度的时空演变特征，公式如下[26]：

$$\ln\left(\frac{D_{i,t+1}}{D_{it}}\right)=\alpha+\beta\ln\left(D_{it}\right)+\theta\sum_{j}^{m}w_{ij}\ln\left(D_{it}\right)+\rho\sum_{j}^{m}w_{ij}\ln\left(\frac{D_{i,t+1}}{D_{it}}\right)+u_i+v_t+\varepsilon_{it} \tag{16}$$

式中：$D_{i,t+1}$ 为县(区) i 在 $t+1$ 时期的耕地利用“显-隐性”形态耦合协调度；D_{it} 为县(区) i 在 t 时期的耕地利用“显-隐性”形态耦合协调度；$\ln\left(D_{i,t+1}/D_{it}\right)$ 为县域 i 在时间 t 到 $t+1$ 耕地利用“显-隐性”形态耦合协调度的增长率的对数；$\ln\left(D_{it}\right)$ 为县(区) i 在 t 时期的耕地利用“显-隐性”形态耦合协调度的对数；α 为常数项；θ、ρ 为待估计的空间系数；u_i 为地区效应；v_t 为时间效应；ε_{it} 为随机干扰项；w_{ij} 为县(区) i 与县(区) j 的空间权重矩阵；β 为收敛系数。若 $\beta<0$ 且显著，则认为耦合协调度具有收敛特征，式(16)为空间杜宾模型(SDM)；当 $\theta=0$ 时，式(16)为空间滞后模型(SAR)；当 $\rho=0$ 时，式(16)为空间误差模型(SEM)。

1.4.5 障碍度分解模型 利用障碍度分解模型识别评价指标体系各基础指标对耦合协调度的障碍程度，公式如下[29]：

$$T_{ij}=1-x'_{ij} \tag{17}$$

$$Q_{ij}=\frac{T_{ij}W_j}{\sum_{j=1}^{m}\left(T_{ij}W_j\right)}\times100\% \tag{18}$$

式中：T_{ij} 为 i 县(区)第 j 项指标的偏离度；x'_{ij} 为 i 县(区)第 j 项指标的标准化值；W_j 为第 j 项指标的权重；Q_{ij} 为 i 县(区)第 j 项指标的障碍度，取值越大表明该因子对耕地利用“显-隐性”形态耦合协调度的抑制越明显。

2 结果与分析

2.1 中国西北农作制区耕地利用“显-隐性”形态耦合协调度的时空演变特征

2.1.1 耕地利用“显-隐性”形态的空间分布格局 根据计算结果，中国西北农作制区耕地利用“显-隐性”形态耦合协调度的整体水平均低于0.55，所以评价标准划分仅在0~0.55区间(表2)。为进一步探讨区域内耕地利用显性、隐性形态水平的同步发展关系，以2类指数在该区域内的排序差值为依据判断相对滞后类型[30]，若分析单元的耕地利用显性形态指数与隐性形态指数排名差距在5位以内，表示耕地利用显性、隐性水平同步发展，属于同步型；若显性指数在隐性指数排名前5位以上，说明显性发展更好，属于隐性滞后型，反之则属显性滞后型。

中国西北农作制区耕地利用显性、隐性水平的同步型发展关系较少，以显性或隐性滞后类型居多(图2)。从分布情况来看，亚区Ⅰ主要为隐性滞后型以及显性滞后型，其中显性滞后型主要盘踞在亚区中部，而隐性滞后型主要集中在亚区东部，原因在于亚区东-中部区域的地形差异，东部为平原绿洲，中部为高地荒漠地形，两地的农业发展条件存在差异，造成了耕地利用的空间不均衡性。亚区Ⅱ分布呈现鲜明的集聚特点，西部围绕玛纳斯河流域以及降水量较多的伊犁、塔城、阿勒泰等绿洲区域呈现隐性滞后型集聚分布，这主要是旱作区域内水资源对农田灌溉的积极作用，有效提高了耕地利用水平，而东部区域以荒漠、草场为主，耕地数量有限，耕地利用的显性形态存在制约和短板。亚区Ⅲ以显性滞后类型为主，也是由于该区域被山及塔克拉玛干沙漠包围，造成耕地利用形态的显性滞后。

2.1.2 耕地利用“显-隐性”形态耦合协调度的动态演进特征 运用Matlab软件进行Kernel密度估计(图3)。中国西北农作制区总体耦合协调度的动态演进特征如图3a所示。总体曲线的中心位置无明

表2　耦合协调度评定标准

Tab. 2　Evaluation criteria of coupling coordination degree

类型	极度失调	严重失调	中度失调	轻度失调	濒临失调	勉强失调
耦合协调度	[0.00, 0.25]	(0.25, 0.30]	(0.30, 0.35]	(0.35, 0.40]	(0.40, 0.45]	(0.45, 0.55]

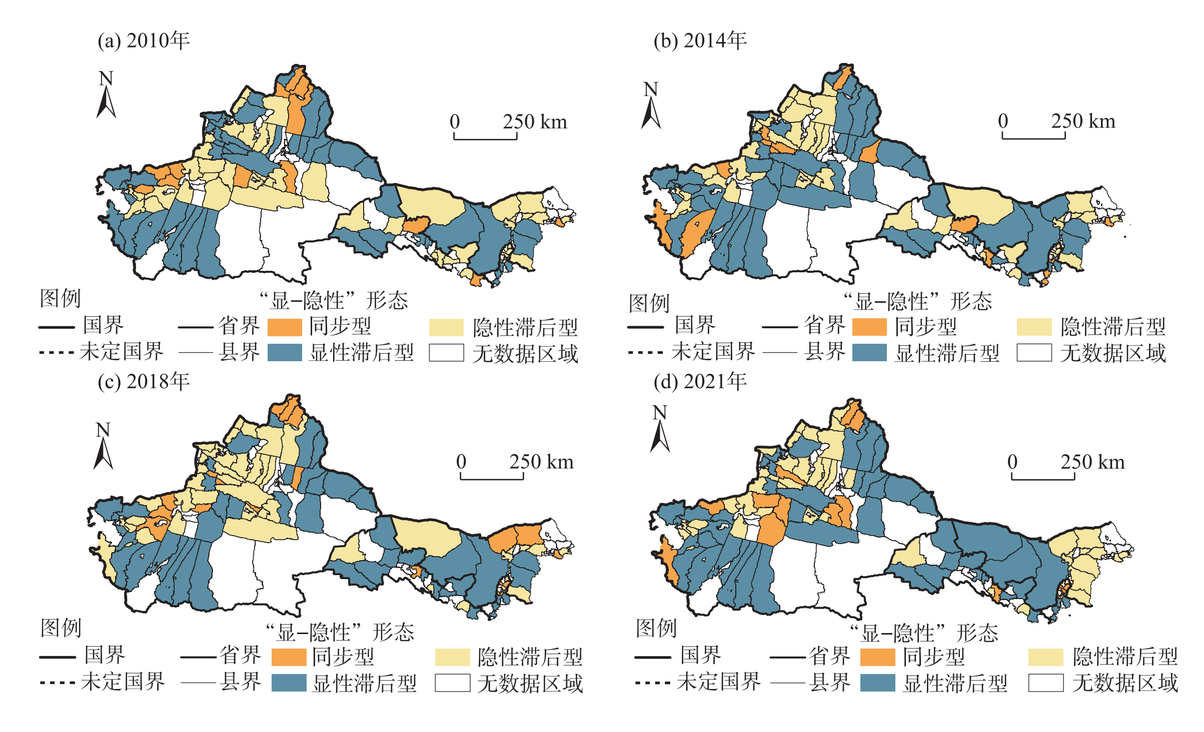


图2 耕地利用“显-隐性”形态的空间分布

Fig. 2 Spatial distribution of “explicit-implicit” patterns of cropland utilization

图3 耕地利用“显-隐性”形态耦合协调度的Kernel密度估计

Fig. 3 Kernel density estimation of “explicit-implicit” patterns coupling coordination degrees of cropland utilization

显偏移，集中在0.3~0.4区间，以中度、轻度失调类型为主。总体曲线主峰高度逐渐上升，宽度也呈现缩窄变化，说明总体耦合协调度的不平衡程度降低，并呈现一定集聚态势。总体曲线存在明显右拖尾现象，说明存在耦合协调度高的县（区），且与总体耦合协调度平均水平差距逐渐拉大，总体的耦合协调度水平的绝对差异在不断扩大。此外，总体曲线呈多峰分布，多极分化现象明显。

各亚区耦合协调度的动态演进特征如图3b~d所示。从分布位置来看，亚区Ⅰ、亚区Ⅱ、亚区Ⅲ曲线的中心位置没有大幅偏移趋势，耦合协调度水平仍保持低位。从分布形态来看，亚区Ⅰ曲线的主峰高度呈现先下降后上升变化，与之对应的主峰宽度也是先变宽后缩窄，说明耦合协调度水平离散程度有所缓解；亚区Ⅱ曲线“双峰”宽度均不断缩窄，高度有所上升，表明亚区Ⅱ内耦合协调度水平相近的县（区）间差异不断缩小；亚区Ⅲ曲线高度呈先降后升变化，说明其耦合协调度区域内差异在不断缩小。从分布延展性来看，亚区Ⅰ、亚区Ⅱ、亚区Ⅲ曲线均存在明显右拖尾特征，说明各亚区内有部分县（区）耦合协调度显著高于平均水平。从分布极化现象来看，亚区Ⅰ曲线由一主峰和一侧峰构成，侧峰高度相对较低，表明存在轻微两极分化特征；亚区Ⅱ呈“多峰形态”格局，由高度较高的“双峰”和多个高度较低的侧峰构成，表明区域内存在明显的多级分化现象；亚区Ⅲ核密度曲线经历“主峰+单侧峰”至“主峰+多侧峰”的变化过程，侧峰数量增加，区域内耦合协调度多极分化现象进一步加剧。

2.1.3 耕地利用“显-隐性”形态耦合协调度的区域差异及来源

（1）总体差异及区域内差异

耦合协调度总体基尼系数和亚区内基尼系数的变化情况如图4a~b所示。2010—2021年，总体基尼系数介于0.08~0.10之间，呈现波动下降的动态变化，区域内基尼系数均值大小存在差异，亚区Ⅰ>亚区Ⅲ>亚区Ⅱ。其中，亚区Ⅰ的区域内基尼系数最

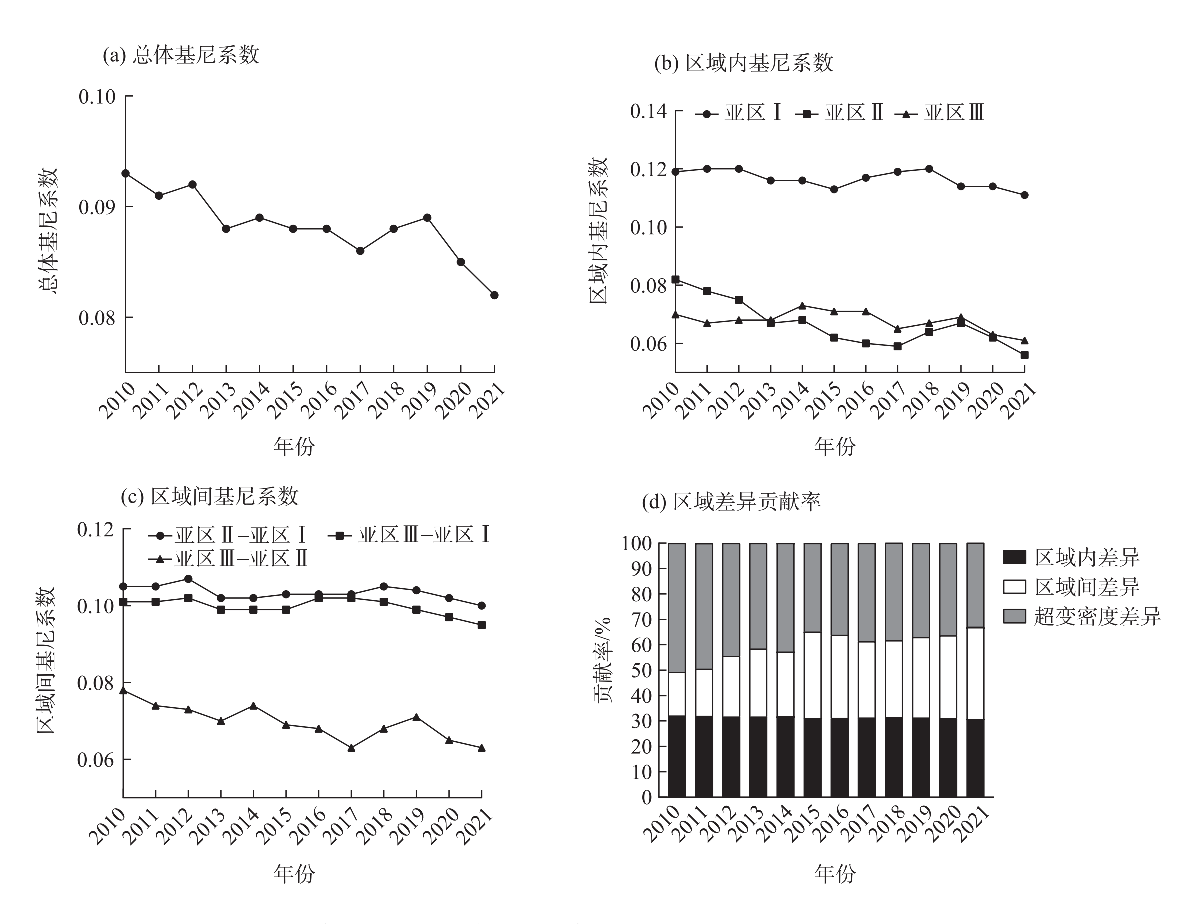


图4　耕地利用“显-隐性”形态耦合协调度的地区差异及来源分解

Fig. 4　Regional difference and source decomposition of “explicit-implicit” patterns coupling coordination degrees of cropland utilization

大，原因在于该亚区既有宁夏河套平原、甘肃河西走廊绿洲等良好耕作条件的地带，也存在阿拉善高地和鄂尔多斯高原西部的荒漠等耕地数量有限、利用水平较低的区域，地形、环境差异所导致的资源禀赋存在巨大参差，造成耕地利用显性形态存在区别。从变化趋势来看，亚区Ⅰ的变化相对平缓，区域内差异仍然处于高位；亚区Ⅱ呈多阶段下降变化，区域内差异有缩小趋势；亚区Ⅲ曲线保持相对平缓，区域内差异较为稳定，无显著变化。

（2）区域间差异

亚区Ⅰ、Ⅱ、Ⅲ的区域间基尼系数变化如图4c所示。由于亚区Ⅰ耕地利用“显–隐性”形态耦合协调度明显高于亚区Ⅱ、亚区Ⅲ，从而与其他2个亚区的区域间基尼系数较高，区域间差异呈现下降趋势，亚区Ⅰ与亚区Ⅱ、Ⅲ的区域间基尼系数降幅分别达4.76%、5.84%。同时，亚区Ⅱ与亚区Ⅲ的区域间基尼系数相对较小，均值仅为0.07，这是因为2个区域都以灌溉集约和棉作制为主，农作制特点的相似度较高。

（3）差异来源

耦合协调度总体差异来源及其贡献度如图4d所示。其中，组内差异贡献度相对稳定地保持在31%左右；超变密度差异贡献度从2010年的50.72%降至2021年的33.13%，降幅为34.69%，说明地区间各县（区）的交叉重叠现象有所减缓，地区间差距在逐渐扩大，这与区域间差异贡献率的不断上升态势契合，2021年区域间差异贡献度提升至36.12%，是当前总体差异的最大贡献部分，说明中国西北农作制区的区域间差异逐渐加深。

2.1.4 耕地利用“显–隐性”形态耦合协调度的空间收敛特征 构建地理距离矩阵，并利用LM检验、Hausman检验、LR检验、Wald检验，确定中国西北农作制区总体及各亚区耕地“显–隐性”形态耦合协调度的空间收敛分析模型，模型选择结果如表3所示。

首先，中国西北农作制总体区域、亚区Ⅰ、亚区Ⅱ、亚区Ⅲ的耦合协调度收敛系数均在1%的水平下显著为负，各区域都存在空间收敛表现，耦合协调度存在趋同的可能性；其次，根据收敛系数的绝对值排序，亚区Ⅱ、Ⅲ的空间收敛速度较快。原因在于当前一系列耕地保护、开发与利用政策的相继出台，一定程度上维护了耕地数量、质量和生态的“三位一体”，在制止耕地“非农化”“非粮化”方面取得了积极成效，持续改善了该区域耕地利用显性、隐性形态的不协调状况。而亚区Ⅰ的耦合协调度相对较高，因此收敛速度低于其他2个亚区。

表3 耕地利用“显–隐性”形态耦合协调度绝对收敛结果

Tab. 3 Absolute convergence result of “explicit-implicit” patterns coupling degrees of cropland utilization

变量	双固定SDM	双固定SAR		
	西北农作制区总体	亚区Ⅰ	亚区Ⅱ	亚区Ⅲ
β	-0.75^{***}	-0.55^{***}	-0.70^{***}	-0.88^{***}
θ	0.55^{***}	–	–	–
ρ	0.01^{***}	−0.07	-0.38^{**}	-0.46^{**}
Log-Likelihood	2381.87	831.75	807.19	797.85
Hausman检验	140.53^{***}	96.90^{***}	194.81^{***}	279.34^{***}
地区固定效应	29.25^{***}	25.72^{***}	48.21^{***}	45.37^{***}
时间固定效应	517.47^{***}	94.90^{***}	157.44^{***}	226.66^{***}
R^2	0.35	0.22	0.36	0.42
样本量	107	34	35	38

注：***、**、*分别表示在1%、5%、10%置信水平下显著；SDM为空间杜宾模型；SAR为空间滞后模型；β 为收敛系数；θ 为空间溢出系数；ρ 为空间误差系数；Log-Likelihood为对数自然值；Hausman检验为豪斯曼检验结果；R^2 为决定系数。

2.2 中国西北农作制区耕地利用“显–隐性”形态耦合协调度障碍因子分解

运用障碍度分解模型，分解中国西北农作制区总体及3个亚区各指标的障碍度，排名前三的指标为主要障碍指标（表4）。

2.2.1 耕地利用显性形态的障碍因子 其一，耕地景观分离度的障碍度均达到37.85%以上，表明耕地细碎化是首要障碍因素。西北农作制区耕地细碎化程度较高[31]，不利于耕地的集约利用以及规模化生产，随着农业机械化的普及以及劳动力成本的增加，细碎的耕地资源会促使农业成本的上升，造成耕地的低效利用。其二，粮经比的障碍度均达到17.52%以上，说明耕地“非粮化”具有很大的障碍作用。西北农作制区作为全国性的棉花、瓜果基地，经济作物种植面积较大，“非粮化”程度较高对粮食安全造成威胁，同时会改变土壤肥力，降低耕地质量，影响耕地生产能力，危害耕地利用的可持续性。其三，土地垦殖率的障碍度均达到16.30%以上。西北农作制区土地面积占全国的20%以上，但是耕地数量少，并且受干旱荒漠气候影响，耕地生态脆弱，地力易退化，土地垦殖率仅为2.8%，限制了中国西北农作制区耕地利用的显性形态水平。

表4　耕地利用“显-隐性”形态的主要障碍因素及障碍度

Tab. 4　Main obstacle factors and obstacle degrees of “explicit-implicit” patterns of cropland utilization

地区	显性形态主要障碍因素(障碍度)			隐性形态主要障碍因素(障碍度)		
	第一因子	第二因子	第三因子	第一因子	第二因子	第三因子
西北农作制区总体	耕地景观分离度(40.31%)	粮经比(18.04%)	土地垦殖率(16.43%)	单位耕地面积第一产业产值(56.18%)	单位耕地面积粮食产量(18.56%)	复种指数(17.27%)
亚区Ⅰ	耕地景观分离度(37.85%)	粮经比(19.01%)	土地垦殖率(16.61%)	单位耕地面积第一产业产值(56.94%)	复种指数(18.38%)	单位耕地面积粮食产量(16.60%)
亚区Ⅱ	耕地景观分离度(41.78%)	粮经比(17.52%)	土地垦殖率(16.30%)	单位耕地面积第一产业产值(55.41%)	单位耕地面积粮食产量(19.78%)	复种指数(17.38%)
亚区Ⅲ	耕地景观分离度(41.19%)	粮经比(17.64%)	土地垦殖率(16.39%)	单位耕地面积第一产业产值(56.21%)	单位耕地面积粮食产量(19.19%)	复种指数(16.20%)

2.2.2　耕地利用隐性形态的障碍因子　其一，单位耕地面积第一产业产值的障碍度均达到55.41%以上，是第一障碍因子。中国西北农作制区受地理自然要素限制的影响，第一产业的发展情况并不良好。该区域基本无林业、渔业发展，天然草地的荒漠化程度较高，牧业发展也十分受限。种植业作为该区域的主要农业类型，但发展水平不高，构成了提升耕地利用隐性形态水平的核心障碍。其二，单位耕地面积粮食产量的障碍度均达到16.60%以上，是中国西北农作制区总体及亚区Ⅱ、Ⅲ的第二障碍因子，2个亚区的耕地“非粮化”程度相较于亚区Ⅰ更高，影响了粮食保障能力。其三，复种指数的障碍度均达到16.20%以上，说明耕地集约化程度是耕地利用的主要障碍，这是因为中国西北农作制区受地形区位影响，交通运输条件差，农业资源投入、农业科技运用有限，阻碍了耕地的集约化利用水平。

3　讨　论

本文从农作制视角出发，通过对耕地利用内涵深入分析，构建耕地利用“显-隐性”形态评价指标体系，运用熵权法对中国西北农作制区耕地利用形态水平测度，引入耦合协调度模型关注耕地利用“显-隐性”形态水平的协调发展，通过Kernel密度估计、Dagum基尼系数、空间收敛性检验揭示其耦合协调度的时空演化特征，最后通过障碍度分解模型判断耕地利用中的障碍因素，为推进耕地协调利用提供一定参考。相较于以往研究主要从省域、市域、县域等行政区划的尺度来探讨耕地状况[31]，本文纳入农作制区划，深化研究尺度的同时，区别于以往研究中只对单一形态耕地利用状况的探讨[7,16]，将耕地利用形态进一步细分为显性形态和隐性形态2个相互独立又互相关联的结构，丰富了耕地利用系统的内涵和外延。

根据测度和时空分析的结果，本文探讨了有关推进中国西北农作制区耕地利用发展的对策：(1) 以旱作制为主的西北农作制区合理用水是提高耕地利用的关键。首先，建造蓄水工程，提高水资源调用储备，缓解“以水定地”的现象，优化用水时空格局，切实改善水资源保障能力，减缓西北旱区资源型、区域性缺水问题，同时推进节水利用，完善灌溉技术，防范粗放灌溉产生的土壤次盐碱化等威胁耕地质量的问题；其次，亚区Ⅱ、亚区Ⅲ水资源利用率不高，存在较大的开发潜力，在保障生态的基础上，扩大对非常规水的开发利用，提高生态涵养功能。(2) 作为生态脆弱区的西北农作制区应做好土地适宜性评价，对宜耕土地实行保护性开发。西北农作制区拥有广袤的土地资源，但其土地垦殖率较低，存在较大的开发潜力。通过对耕地后备资源进行评价，结合环境负荷要求，对适宜耕地进行开发，同时对不稳定类型耕地进行生态修复以及综合治理，提高耕地资源的储备管理。(3) 自然资源禀赋存在明显空间差异的西北农作制区，应充分发挥区位优势，发展适宜的农作制。亚区Ⅰ可依托水资源的地理分布发展特色农业，河西走廊区域可借助其紧挨黄河流域的区位优势，充分发展灌溉农业，将其打造成为特色农业生产基地；亚区Ⅱ、亚区Ⅲ可充分发挥光热优势发展特色“阳光作物”农作制，促进农民增收。

根据障碍度分解结果，本文讨论了关于缓解障碍指标掣肘的对策：(1) 应缓解耕地细碎化对其利用水平的消极影响，结合各区域自然特点，推进耕地细碎化治理，促进耕地集中、连片利用，推动耕地利用格局优化升级。(2) 防止“非粮化”现象进一步

加深,保障已有粮食种植区域,因地制宜,改善农业种植结构,形成兼顾生态与经济效益的种植业态。(3)推动农业科技创新,发展特色农业,引入专业化技术,促进农业机械化普及,实现耕地规模化、集约化利用,提高农业生产效率,促进农业生产增值。

4 结 论

(1)2010—2021年中国西北农作制区耕地利用显性、隐性形态存在不同步发展,滞后发展区域分异特征显著。耕地利用"显-隐性"形态耦合协调度水平不高,变化趋势较为平缓,各亚区均存在明显的极化分布特征。

(2)2010—2021年中国西北农作制区耕地利用"显-隐性"形态耦合协调度区域内差异呈波动下降趋势,亚区Ⅰ与其他亚区间的差异较大,亚区Ⅱ、Ⅲ之间差异较小,区域间差异贡献率逐渐上升成为总体差异的首要来源。空间收敛分析中西北农作制区总体以及各亚区均存在收敛特征,但收敛速度存在区别。

(3)2010—2021年中国西北农作制区耕地利用"显-隐性"形态障碍度分解结果表明,在耕地利用显性形态方面,耕地数量和景观形态方面存在明显不足,耕地景观分离度、粮经比、土地垦殖率作为其主要障碍因子严重影响了耕地利用。在耕地利用隐性形态方面中,复种指数、单位耕地面积粮食产量、单位耕地面积第一产业产值是其主要障碍因子,说明西北农作制区生产功能的不足严重限制了耕地利用。

参考文献(References)

[1] 宋小青, 李心怡. 区域耕地利用功能转型的理论解释与实证[J]. 地理学报, 2019, 74(5): 992-1010. [Song Xiaoqing, Li Xinyi. Theoretical explanation and case study of regional cultivated land use function transition[J]. Acta Geographica Sinica, 2019, 74(5): 992-1010.]

[2] 成升魁, 李云云, 刘晓洁, 等. 关于新时代我国粮食安全观的思考[J]. 自然资源学报, 2018, 33(6): 911-926. [Cheng Shengkui, Li Yunyun, Liu Xiaojie, et al. Thoughts on food security in China in the new period[J]. Journal of Natural Resources, 2018, 33(6): 911-926.]

[3] 刘彦随, 周扬, 刘继来. 中国农村贫困化地域分异特征及其精准扶贫策略[J]. 中国科学院院刊, 2016, 31(3): 269-278. [Liu Yansui, Zhou Yang, Liu Jilai. Regional differentiation characteristics of rural poverty and targeted poverty alleviation strategy in China [J]. Bulletin of Chinese Academy of Sciences, 2016, 31(3): 269-278.]

[4] 戴尔阜, 马良, 杨微石, 等. 土地系统多主体模型的理论与应用[J]. 地理学报, 2019, 74(11): 2260-2272. [Dai Erfu, Ma Liang, Yang Weishi, et al. Agent based model of land system: Theory, application and modelling framework[J]. Acta Geographica Sinica, 2019, 74(11): 2260-2272.]

[5] 宋小青. 论土地利用转型的研究框架[J]. 地理学报, 2017, 72(3): 471-487. [Song Xiaoqing. Discussion on land use transition research framework[J]. Acta Geographica Sinica, 2017, 72(3): 471-487.]

[6] 宋小青, 吴志峰, 欧阳竹. 耕地转型的研究路径探讨[J]. 地理研究, 2014, 33(3): 403-413. [Song Xiaoqing, Wu Zhifeng, Ouyang Zhu. Route of cultivated land transition research[J]. Geographical Research, 2014, 33(3): 403-413.]

[7] 曲艺, 龙花楼. 中国耕地利用隐性形态转型的多学科综合研究框架[J]. 地理学报, 2018, 73(7): 1226-1241. [Qu Yi, Long Hualou. A framework of multi-disciplinary comprehensive research on recessive farmland transition in China[J]. Acta Geographica Sinica, 2018, 73(7): 1226-1241.]

[8] 龙花楼. 论土地利用转型与乡村转型发展[J]. 地理科学进展, 2012, 31(2): 131-138. [Long Hualou. Land use transition and rural transformation development[J]. Progress in Geography, 2012, 31(2): 131-138.]

[9] 金一诺, 王枫. 珠三角耕地利用转型的时空演化特征及其影响因素分析[J]. 水土保持研究, 2022, 29(4): 352-361. [Jin Yinuo, Wang Feng. Spatiotemporal evolution characteristics of cultivated land use transition and its influence factors in the Pearl River Delta[J]. Research of Soil and Water Conservation, 2022, 29(4): 352-361.]

[10] 龙花楼, 李婷婷. 中国耕地和农村宅基地利用转型耦合分析[J]. 地理学报, 2012, 67(2): 201-210. [Long Hualou, Li Tingting. Analysis of the coupling of farmland and rural housing land transition in China[J]. Acta Geographica Sinica, 2012, 67(2): 201-210.]

[11] 吴宇哲, 沈欣言. 中国耕地保护治理转型:供给、管制与赋能[J]. 中国土地科学, 2021, 35(8): 32-38. [Wu Yuzhe, Shen Xinyan. Transformation of cultivated land conservation and management in China: Supply, control and empowerment[J]. China Land Science, 2021, 35(8): 32-38.]

[12] 刘新智, 周韩梅, 董飞. 耕地利用转型与农村经济增长:直接效应与空间溢出效应[J]. 西南大学学报(自然科学版), 2021, 43(11): 102-111. [Liu Xinzhi, Zhou Hanmei, Dong Fei. Governance transformation for cultivated land protection in China: Provision, regulation and enabling[J]. Journal of Southwest University (Natural Science Edition), 2021, 43(11): 102-111.]

[13] 卢新海, 王慧, 唐一峰, 等. 湖北省耕地利用转型对农民增收的空间溢出效应研究[J]. 长江流域资源与环境, 2021, 30(7): 1757-1767. [Lu Xinhai, Wang Hui, Tang Yifeng, et al. Study on the spatial spillover effect of the transformation of farmland utiliza-

tion on farmers' income in Hubei Province[J]. Resources and Environment in the Yangtze Basin, 2021, 30(7): 1757-1767.]

[14] 黄英, 江艳军. 新时代耕地利用转型对农业产业结构升级的影响[J]. 广西社会科学, 2019(3): 65-70. [Huang Ying, Jiang Yanjun. Influence of cultivated land transformation on the upgrading of agricultural industrial structure in the new era[J]. Guangxi Social Sciences, 2019(3): 65-70.]

[15] 谭智元, 黄玉莉, 曹银贵, 等. 中国耕地利用转型研究：热点与前沿[J]. 农业资源与环境学报, 2023, 40(6): 1400-1414. [Tan Zhiyuan, Huang Yuli, Cao Yingui, et al. Research on the transformation of cultivated land use in China: Hotspots and frontiers[J]. Journal of Agricultural Resources and Environment, 2023, 40(6): 1400-1414.]

[16] 黄珺嫦, 华轩轲, 贾梦瑶, 等. 2000—2020年河南省耕地利用显性转型时空特征[J]. 水土保持通报, 2023, 43(1): 206-213. [Huang Junchang, Hua Xuanke, Jia Mengyao, et al. Temporal and spatial characteristics of dominant transformation of cultivated land use in Henan Province from 2000 to 2020[J]. Bulletin of Soil and Water Conservation, 2023, 43(1): 206-213.]

[17] 王凤娇, 梁伟, 傅伯杰, 等. 近年来的黄土高原耕地时空变化与口粮安全耕地数量分析[J]. 干旱区地理, 2020, 43(1): 161-171. [Wang Fengjiao, Liang Wei, Fu Bojie, et al. Spatial and temporal changes of cultivated land and quantitative analysis of ration safe cultivated land on the Loess Plateau in recent years[J]. Arid Land Geography, 2020, 43(1): 161-171.]

[18] 周贵鹏, 龙花楼, 戈大专, 等. 耕地利用隐性形态三维测度及其地域类型研究——以黄淮海地区为例[J]. 地理研究, 2024, 43(1): 180-199. [Zhou Guipeng, Long Hualou, Ge Dazhuan, et al. Study on three-dimensional measurement of recessive farmland use morphology and its regional types: A case of the Huang-Huai-Hai region[J]. Geographical Research, 2024, 43(1): 180-199.]

[19] 薛领, 孙欣彤, 赵威.气候变化、经济集聚对农业生产适宜性的影响——以云南省为例[J]. 城市与环境研究, 2023(3): 98-118. [Xue Ling, Sun Xintong, Zhao Wei. The impact of climate change and economic agglomeration on agricultural sustainability: A case study of Yunnan Province[J]. Urban and Environmental Studies, 2023(3): 98-118.]

[20] 杜国明, 柴璐佳, 李玉恒. 耕地利用系统的理论解析与研究框架[J]. 地理科学进展, 2022, 41(7): 1288-1299. [Du Guoming, Chai Lujia, Li Yuheng. Theoretical explanation and research framework of cultivated land use system[J]. Progress in Geography, 2022, 41(7): 1288-1299.]

[21] 刘巽浩, 陈阜. 中国农作制[M]. 北京: 中国农业出版社, 2005. [Liu Xunhao, Chen Fu. Farming systems in China[M]. Beijing: China Agricultural Press, 2005.]

[22] 潘子纯, 田蓬鹏, 马林燕, 等. 城乡融合对耕地利用转型的影响研究[J]. 地理科学进展, 2024, 43(2): 231-245. [Pan Zichun, Tian Pengpeng, Ma Linyan, et al. The impact of urban-rural integration on cultivated land use transformation[J]. Progress in Geographic Science, 2024, 43(2): 231-245.]

[23] 龙花楼. 论土地利用转型与土地资源管理[J]. 地理研究, 2015, 34(9): 1607-1618. [Long Hualou. On land use transition and land management[J]. Geographical Research, 2015, 34(9): 1607-1618.]

[24] 马丽君, 程久苗, 程建, 等. 土地利用隐性转型影响因素分析[J]. 中国土地科学, 2019, 33(7): 81-90. [Ma Lijun, Cheng Jiumiao, Cheng Jian, et al. Analysis of influencing factors for recessive transformation of land use[J]. China Land Science, 2019, 33(7): 81-90.]

[25] 宁静, 朱冉, 张馨元, 等. 内蒙古区县城市韧性评价与分析[J]. 干旱区地理, 2023, 46(7): 1217-1226. [Ning Jing, Zhu Ran, Zhang Xinyuan, et al. Evaluation and analysis of urban resilience of districts and counties in Inner Mongolia[J]. Arid Land Geography, 2023, 46(7): 1217-1226.]

[26] 李海央, 朱明月, 张林. 农村金融高质量发展与乡村产业振兴耦合协调度研究[J]. 华东经济管理, 2023, 37(6): 66-78. [Li Haiyang, Zhu Mingyue, Zhang Lin. Coupling coordination degree between the high-quality development of rural finance and rural industry revitalization[J]. East China Economic Management, 2023, 37(6): 66-78.]

[27] 张林, 李海央, 梁义娟. 农村金融高质量发展：水平测度与时空演变[J]. 中国农村经济, 2023(1): 115-139. [Zhang Lin, Li Haiyang, Liang Yijuan. High-quality development of rural finance: Measurement and spatio-temporal evolution[J]. China Rural Economy, 2023(1): 115-139.]

[28] Dagum C. A new approach to the decomposition of the Gini income inequality ratio[J]. Empirical Economics, 1997, 22(4): 515-531.

[29] 赵宏波, 岳丽, 刘雅馨, 等. 高质量发展目标下黄河流域城市居民生活质量的时空格局及障碍因子[J]. 地理科学, 2021, 41(8): 1303-1313. [Zhao Hongbo, Yue Li, Liu Yaxin, et al. Spatial-temporal pattern and obstacle factors of urban residents' quality of life in the Yellow River Basin under the background of high-quality development[J]. Scientia Geographica Sinica, 2021, 41(8): 1303-1313.]

[30] 王丽娟, 于海艳. 贫困山区耕地利用显性与隐性转型耦合演变——以云南省玉龙县纳西族自治县为例[J]. 科学技术与工程, 2023, 23(21): 9015-9023. [Wang Lijuan, Yu Haiyan. Dominant and recessive transformation pattern and its coupling relationship of cultivated land use in poor mountainous areas: A case study of Naxi Autonomous County, Yulong County, Yunnan Province[J]. Science Technology and Engineering, 2023, 23(21): 9015-9023.]

[31] 刘晶, 金晓斌, 徐伟义, 等. 1990—2020年中国耕地景观细碎化演变特征与趋势预判[J]. 地理学报, 2023, 78(9): 2163-2185. [Liu Jing, Jin Xiaobin, Xu Weiyi, et al. Evolution characteristics and trend prediction of cultivated land fragmentation in China from 1990 to 2020[J]. Acta Geographica Sinica, 2023, 78(9): 2163-2185.]

"Explicit-implicit" patterns coupling coordination degree of cropland utilization in the farming system of northwest China

LI Haiyang, YANG Min
(Faculty of Management and Economics, Kunming University of Science and Technology, Kunming 650504, Yunnan, China)

Abstract: Studying cropland utilization patterns is crucial for achieving efficient cropland use and ensuring food security. This study explores the spatiotemporal evolution characteristics of the "explicit-implicit" patterns coupling coordination degree of cropland utilization in the farming regions of northwest China from 2010 to 2021. A comprehensive evaluation index system of cropland utilization patterns was constructed, and spatiotemporal statistical methods were employed. The obstacle factors of cropland utilization were analyzed using the barrier degree decomposition model. The results showed that: (1) The explicit and implicit patterns of cropland utilization in northwest China's farming systems developed asynchronously, with significant regional differentiation and backward development. The coupling coordination degree between explicit and implicit patterns of cropland utilization remained low, exhibiting a pronounced polarization in each sub-region. (2) The intra-regional differences in the coupling coordination degree of "explicit-implicit" patterns of cropland utilization displayed a fluctuating downward trend, while the contribution rate of inter-regional differences gradually increased, becoming the main source of overall variation. Each sub-region demonstrated spatial convergence characteristics. (3) Cropland utilization is primarily constrained by factors such as cropland quantity structure, landscape characteristics, intensive level, and production function. To address these limitations, the study suggests improving the rational use of water resources, promoting the protection and development of suitable cultivated land, and alleviating the impact of obstacle factors. These measures aim to develop a suitable farming system and enhance the coupling development of "explicit-implicit" patterns of cropland utilization, providing a scientific reference for the sustainable development of cropland utilization in the farming systems of northwest China.

Key words: farming system; cropland utilization; explicit pattern; implicit pattern; coupling coordination degree